

DIALOG(R) File 351:Derwent WPI  
(c) 2002 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

012855483    \*\*Image available\*\*  
WPI Acc No: 2000-027316/ 200003  
XRPX Acc No: N00-020347

**Vibration damping apparatus for semiconductor exposure system**  
Patent Assignee: CANON KK (CANO ); FITZPATRICK CELLA HARPER & SCINTO  
(FITZ-N)

Inventor: MAYAMA T; TAKABAYASHI Y; WAKUI S  
Number of Countries: 002    Number of Patents: 003  
Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Week
JP 11294520	A	19991029	JP 9895893	A	19980408	200003 B
US 20010040324	A1	20011115	US 99286438	A	19990406	200172
US 6322060	B1	20011127	US 99286438	A	19990406	200175

Priority Applications (No Type Date): JP 9895893 A 19980408

Patent Details:

Patent No	Kind	Lan	Pg	Main IPC	Filing Notes
JP 11294520	A			F16F-015/02	
US 20010040324	A1			F16M-005/00	
US 6322060	B1			F16M-013/00	

Abstract (Basic): JP 11294520 A

NOVELTY - A vertical pneumatic actuator (21) and a horizontal pneumatic actuator (22) have different driving characteristics. The vertical pneumatic actuator generates force in vertical direction. The horizontal pneumatic actuator generates force in horizontal direction.

DETAILED DESCRIPTION - INDEPENDENT CLAIMS are also included for the following:

- (a) an exposure system;
- (b) a device manufacturing method;
- (c) a vibration removing procedure.

USE - For semiconductor exposure system.

ADVANTAGE - Provides compact structure, and enables efficient and highly precise vibration removal. Ensures easy control of pneumatic pressure while generating large thrust. Simplifies signal wiring of control system, thus cost reduction is attained.

DESCRIPTION OF DRAWING(S) - The figure shows the schematic diagram of vibration damping apparatus.

Vertical pneumatic actuator (21)

Horizontal pneumatic actuator (22)

Title Terms: VIBRATION; DAMP; APPARATUS; SEMICONDUCTOR; EXPOSE; SYSTEM

Derwent Class: P84; Q63; Q68; U11

International Patent Class (Main): F16F-015/02; F16M-005/00; F16M-013/00

International Patent Class (Additional): F16M-001/00; G03F-007/20;

H01L-021/027

File Segment: EPI; EngPI

Manual Codes (EPI/S-X): U11-C04; U11-C04E1

CORR  
COW  
IN INV  
SEARCH

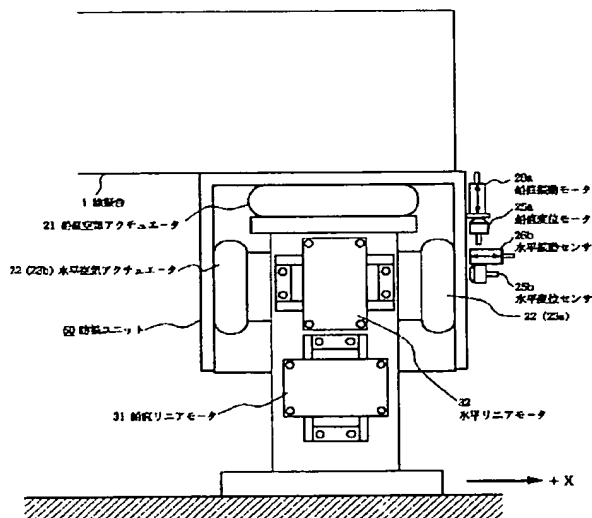
**THIS PAGE BLANK (USPTO)**

(11)特許出願公開番号

(43)公開日 平成11年(1999)10月29日

A

503 F



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 力を発生することで物体の振動を能動的に軽減する除振装置であって、前記力を発生する第1アクチュエータと、該第1アクチュエータとは駆動原理が異なる第2アクチュエータとを有し、

前記第1アクチュエータは、鉛直方向および水平方向に力を発生し、

前記第2アクチュエータは、該鉛直方向および該水平方向のうちの少なくとも一方に力を発生することを特徴とする除振装置。

【請求項2】 前記第1アクチュエータは、空気圧駆動式アクチュエータと電磁駆動リニアモータの一方を有し、前記第2アクチュエータは該空気圧駆動式アクチュエータと該電磁駆動リニアモータの他方を有することを特徴とする請求項1記載の除振装置。

【請求項3】 前記第1アクチュエータは、それぞれ鉛直方向ならびに水平方向に力を発生する2つのアクチュエータを含むことを特徴とする請求項1または2記載の除振装置。

【請求項4】 前記第2アクチュエータは、それぞれ鉛直方向ならびに水平方向に力を発生する2つのアクチュエータを含むことを特徴とする請求項1～3いずれか記載の除振装置。

【請求項5】 前記水平方向に力を発生するアクチュエータは、対向する前記空気圧駆動式アクチュエータを有することを特徴とする請求項1～4いずれか記載の除振装置。

【請求項6】 前記水平方向に力を発生するアクチュエータは、前記空気圧駆動式アクチュエータと予圧機構を有することを特徴とする請求項1～4いずれか記載の除振装置。

【請求項7】 前記鉛直方向に力を発生する第1アクチュエータの作用軸と、前記鉛直方向に力を発生する第2アクチュエータの作用軸が、ほぼ一致していることを特徴とする請求項1～6いずれか記載の除振装置。

【請求項8】 前記水平方向に力を発生する第1アクチュエータの作用軸と、前記水平方向に力を発生する第2アクチュエータの作用軸が、ほぼ一致していることを特徴とする請求項1～7いずれか記載の除振装置。

【請求項9】 受動的な弾性支持手段および受動的な振動減衰手段のうちの少なくとも一方を備えていることを特徴とする請求項1～8いずれか記載の除振装置。

【請求項10】 変位を検出する変位検出手段を有することを特徴とする請求項1～9いずれか記載の除振装置。

【請求項11】 振動を検出する振動検出手段を有することを特徴とする請求項1～10いずれか記載の除振装置。

【請求項12】 前記振動検出手段は、加速度センサであることを特徴とする請求項11記載の除振装置。

【請求項13】 前記変位検出手段と前記振動検出手段のうちの少なくとも一方の出力を補償し、その補償信号に基づいて前記第1アクチュエータと前記第2アクチュエータの少なくとも一方を駆動することを特徴とする請求項10～12いずれか記載の除振装置。

【請求項14】 前記変位検出手段の出力信号の補償信号は、前記空気圧駆動式アクチュエータにフィードバックされることを特徴とする請求項10～13いずれか記載の除振装置。

【請求項15】 前記振動検出手段の出力信号の補償信号は、前記電磁駆動リニアモータにフィードバックされることを特徴とする請求項11～14いずれか記載の除振装置。

【請求項16】 前記空気圧駆動式アクチュエータは、力を発生する方向と直交する方向に対してあそびを有することを特徴とする請求項2～15いずれか記載の除振装置。

【請求項17】 前記空気圧駆動式アクチュエータは、ベローズ構造を有することを特徴とする請求項16記載の除振装置。

【請求項18】 前記空気圧駆動式アクチュエータは、内部圧力を調整するための圧力制御弁、もしくは、吸気・排気流量を調節する流量制御弁を有することを特徴とする請求項2～17いずれか記載の除振装置。

【請求項19】 前記空気圧駆動式アクチュエータは、内部圧力を検出する圧力センサを備え、該圧力補償手段から得られる補償信号に基づき、前記圧力制御弁と前記流量制御弁の少なくとも一方を作動させる圧力制御ループを有することを特徴とする請求項18記載の除振装置。

【請求項20】 前記電磁駆動リニアモータは、可動磁石型リニアモータであることを特徴とする請求項2～19いずれか記載の除振装置。

【請求項21】 前記電磁駆動リニアモータは、対向する複数の磁石間の磁界中にコイルを配置したことを特徴とする請求項2～20いずれか記載の除振装置。

【請求項22】 前記電磁駆動リニアモータは、一つのコイルを有する単相リニアモータであることを特徴とする請求項2～21記載の除振装置。

【請求項23】 前記電磁駆動リニアモータは、複数のコイルを有する多相リニアモータであることを特徴とする請求項2～21記載の除振装置。

【請求項24】 前記複数のコイルは隣り合うコイルの電流の流れる方向と逆方向に通電されていることを特徴とする請求項23記載の除振装置。

【請求項25】 前記電磁駆動リニアモータは、補極磁石を備えることを特徴とする請求項2～24記載の除振装置。

【請求項26】 前記第1アクチュエータおよび第2アクチュエータは、複数配置されることを特徴とする請求

項1～25いずれか記載の除振装置。

【請求項27】 複数配置された電磁駆動リニアモータまたは電磁駆動リニアモータのコイルは、いくつかの群に分けられ、同一群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータまたは電磁駆動リニアモータのコイルは、同一の駆動信号によって駆動されることを特徴とする請求項26記載の除振装置。

【請求項28】 前記同一の駆動信号によって駆動される電磁駆動リニアモータまたは電磁駆動リニアモータのコイルは、電氣的に直列または並列に接続されていることを特徴とする請求項27記載の除振装置。

【請求項29】 変位の目標値と複数台数配置された前記変位検出手段の出力信号から、並進・回転の運動モードの信号を抽出し、この抽出信号を補償し、複数台数配置された前記第1アクチュエータと前記第2アクチュエータのうちの少なくとも一方を駆動することを特徴とする請求項10～28いずれか記載の除振装置。

【請求項30】 複数台数配置された前記振動検出手段の出力信号から、並進・回転の運動モードの信号を抽出し、この抽出信号を補償し、複数台数配置された前記第1アクチュエータと前記第2アクチュエータのうちの少なくとも一方を駆動することを特徴とする請求項11～29記載の除振装置。

【請求項31】 搭載した機器の状態または該機器の信号に基づき、補償演算を行う第1の前向き補償演算手段を備え、第1の前向き補償演算手段の補償信号に基づき、前記第1アクチュエータの駆動を行うことを特徴とする請求項1～30いずれか記載の除振装置。

【請求項32】 搭載した機器の状態または該機器の信号に基づき、補償演算を行う第2の前向き補償演算手段を備え、該第2の前向き補償演算手段の補償信号に基づき、前記第2アクチュエータの駆動を行うことを特徴とする請求項1～31いずれか記載の除振装置。

【請求項33】 請求項1～32いずれか記載の除振装置を備えたことを特徴とする露光装置。

【請求項34】 請求項1～32いずれか記載の除振装置が、ステージ定盤を支持していることを特徴とする露光装置。

【請求項35】 請求項1～32いずれか記載の除振装置が、鏡筒定盤を支持していることを特徴とする露光装置。

【請求項36】 レチクルステージを支持するレチクル定盤が鏡筒定盤に連結されており、請求項1～32いずれか記載の除振装置が、該鏡筒定盤を支持していることを特徴とする露光装置。

【請求項37】 前記露光装置は走査型露光装置であることを特徴とする請求項33～36いずれか記載の露光装置。

【請求項38】 請求項33～37いずれか記載の露光装置を用意するステップと、レチクル上に形成されたパ

ターンをウエハに転写するステップとを有することを特徴とするデバイス製造方法。

【請求項39】 ウエハに露光された部分を現像するステップと、ウエハ上に形成されたチップを切り離すステップを更に有することを特徴とする請求項38記載のデバイス製造方法。

【請求項40】 防振支持された物体の変位または振動を検出し、検出値から物体の並進・回転の運動モードの信号を抽出し、この信号に基づいて補償を行い、鉛直方向と水平方向に力を発生する第1アクチュエータと、該鉛直方向と水平方向のうちの少なくとも一方に力を発生し該第1アクチュエータとは駆動原理が異なる第2アクチュエータの少なくとも一方を、補償信号に基づいて制御することを特徴とする除振方法。

【請求項41】 除振装置に搭載された機器の状態または該機器の信号に基づき、前向き補償演算を行い、鉛直方向と水平方向に力を発生する第1アクチュエータと、該鉛直方向と水平方向のうちの少なくとも一方に力を発生し該第1アクチュエータとは駆動原理が異なる第2アクチュエータの少なくとも一方を、補償信号に基づいて制御することを特徴とする除振方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は目的物を搭載し、振動を絶縁するための除振装置、特に、XYステージのような移動機構を有する半導体露光装置を搭載する精密機器搭載用の能動的な除振装置に関する。また、この除振装置を有する露光装置や、この露光装置を用いたデバイス製造方法に関する。また、目的物を搭載し、振動を絶縁するための除振方法に関する。

【0002】

【従来の技術】電子顕微鏡、半導体露光装置等の精密機器の高精度化に伴い、それらを搭載する精密除振装置の高性能化が求められている。特に半導体露光装置においては、適切かつ迅速な露光を行うために、床などの装置設置基礎からの振動を始めとする外部からの振動を極力除去した除振台が必要である。これは露光に悪影響を及ぼす振動が、露光用ステージに発生しないようにする必要があるためである。

【0003】また、ステップ・アンド・リピートという間欠動作を特徴とする半導体露光装置では、露光用XYステージの繰り返しステップ動作が除振台の振動を励起する。これは、露光用XYステージの駆動反力および露光用XYステージの荷重移動が除振台の振動を励起してしまうためである。従って除振台には、床などの装置設置基礎からの振動を始めとする外部振動に対する除振性能と、除振台に搭載された機器の動作によって発生する振動に対する制振性能とを、バランス良く備えることが求められる。

【0004】ステップ・アンド・リピートにかわる方式

として、スキャン露光方式を採用した半導体露光装置もあるが、この装置においても、装置設置基礎からの振動等、外部から伝達する振動を極力除去するとともに、露光用ステージのスキャン動作により励起される除振台の振動を瞬時に制振する必要がある。特にスキャン露光装置では、露光用ステージがスキャン動作をしている状態で露光を行なうため、外部振動に対する除振性能、除振台に搭載された機器の動作によって発生する振動に対する制振性能、それぞれへの要求は厳しく、一段と高性能な除振装置が不可欠なものとなっている。

【0005】このような要求に対して、近年では、除振台の振動をセンサで検出し、その出力信号を補償して除振台に制御力を加えるアクチュエータにフィードバックすることにより能動的に除振台の振動制御を行なう、能動除振装置が実用化されている。能動除振装置は、ばね、ダンパなどで構成された受動的な除振装置では困難であった、除振性能と制振性能のバランスのとれた除振装置の実現を可能にしている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】ところで、従来の能動除振装置では、除振台に制御力を加えるアクチュエータに、空気ばねの内部圧力を調整することによって能動的にその発生推力を制御する空気圧駆動式アクチュエータを用いることが一般的であった。

【0007】精密機器を搭載する除振装置においては、除振台とそれを防振支持する支持機構からなる振動系の固有振動数をできる限り低くして除振性能を最大限に高めるために、除振台の重量を大きくするとともに、除振台の支持機構にばね定数の低い空気ばねを用いることが有効である。また、空気ばねは、その受圧面積を大きくすることで容易に大推力を発生できるため、大重量の除振台を支持する支持機構としても好適に使用できる。従って、除振台に制御力を加えるアクチュエータとして、空気圧駆動式アクチュエータを用いると、これを除振台の防振支持機構としても兼ねることができ、比較的簡単な構造の除振装置を実現できるというメリットがある。

【0008】しかし、半導体露光装置のように、除振台上に露光用XYステージなどの駆動手段を備えた機器が搭載されている場合、空気圧駆動式アクチュエータを用いた能動除振装置では必ずしも、要求される振動抑制効果を得ることができなかった。通常、露光用XYステージでは、ボールねじを電磁モータで駆動する機構や、電磁駆動リニアモータなどを用いて、ステージを直線方向に駆動させる構造を有する。つまり、駆動力指令信号に対する応答性が高い電磁駆動アクチュエータを用いて露光用XYステージを駆動している。これに対し、空気圧駆動式アクチュエータは、その駆動力指令信号に対する応答が電磁駆動アクチュエータのそれよりも緩慢であり、その応答周波数は一般には電磁駆動アクチュエータより2桁以上低い。そのために、空気圧駆動式アクチュエータを用いた能動除振装置は、電磁駆動アクチュエータで駆動される露光用XYステージの駆動反力に応じた制御力を、十分な応答速度で発生することができず、結果として十分な振動抑制効果を得ることができなかった。

【0009】このような問題を解決するためには、除振台に制御力を加えるアクチュエータとして電磁駆動アクチュエータを用いる方法が考えられる。例えば、電磁石の吸引力を利用して、除振台を磁気浮上させる除振装置などがその例である。しかし、精密機器を搭載する除振台は、前述したように非常に大きな重量があり、電磁力でこれを支持・駆動するためには非常に大きなエネルギーを投入しなければならない。特に電磁駆動アクチュエータでは、電磁力を発生するために用いるコイル巻線で熱が発生する。従って、これに大きなエネルギーを投入して駆動すると、発生する熱量も大きなものとなる。半導体露光装置をはじめとする精密機器は、温度変化に大きく影響され、装置温度が1℃上昇するだけでも、装置性能に絶大な悪影響を及ぼす。

【0010】半導体露光装置に対する高精度化やスループット向上の要求に伴い、大荷重の除振台やその搭載機器を支持するとともに、露光用XYステージなどの除振台上で高速駆動される機器の駆動反力にも迅速に応答して制御力を発生できる能動除振装置の必要性が非常に高まってきている。この要求は、露光用XYステージの高速化によりその駆動反力の増大が予想される次世代の半導体露光装置等の分野において、さらに厳しいものになっている。

【0011】このような駆動反力によって発生する振動を除振装置によって除振・制振する場合、鉛直方向だけでなく、水平方向に関しても除振および制振動作を行う必要がある。しかし、半導体露光装置などでは、装置の組み立てや立ち上げ時の作業性などの要請から、除振装置のユニットとしてのまとまりを重視する場合が多々ある。また、従来のエアシリンダを用いた除振装置では、シリンダの構造上の制限から、鉛直方向および水平方向の双方を除振・制振することが困難であり、装置が複雑化してしまう。従って、除振装置の各構成要素をよりコンパクトにするとともに、それらを効率よく配置した、ユニットとしてまとまりのよい除振装置が必要とされている。

【0012】本発明の目的は、これらの要求を満足し、定常的に大推力を発生できる空気圧駆動式アクチュエータと、応答性の優れた電磁駆動アクチュエータ、それぞれの特質を最大限に活かし、かつ、半導体露光装置のような除振台に搭載される機器への熱などの影響を極力抑えたコンパクトな構成の能動除振装置を提供することにある。

【0013】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するため

の本発明の除振装置は、力を発生することで物体の振動を能動的に軽減する除振装置であって、前記力を発生する第1アクチュエータと、該第1アクチュエータとは駆動原理が異なる第2アクチュエータとを有し、前記第1アクチュエータは、鉛直方向および水平方向に力を発生し、前記第2アクチュエータは、該鉛直方向および該水平方向のうちの少なくとも一方に力を発生することを特徴とする。

【0014】また、前記第1アクチュエータは、空気圧駆動式アクチュエータと電磁駆動リニアモータの一方を有し、前記第2アクチュエータは該空気圧駆動式アクチュエータと該電磁駆動リニアモータの他方を有することが望ましい。

【0015】また、前記第1アクチュエータは、それぞれ鉛直方向ならびに水平方向に力を発生する2つのアクチュエータを含むことが好ましく、前記第2アクチュエータは、それぞれ鉛直方向ならびに水平方向に力を発生する2つのアクチュエータを含むことが好ましい。

【0016】さらに、前記水平方向に力を発生するアクチュエータは、対向する前記空気圧駆動式アクチュエータを有することが好ましく、または、前記水平方向に力を発生するアクチュエータは、前記空気圧駆動式アクチュエータと予圧機構を有することが好ましい。また、前記鉛直方向に力を発生する第1アクチュエータの作用軸と、前記鉛直方向に力を発生する第2アクチュエータの作用軸が、ほぼ一致していることが望ましく、前記水平方向に力を発生する第1アクチュエータの作用軸と、前記水平方向に力を発生する第2アクチュエータの作用軸が、ほぼ一致していることが望ましい。

【0017】さらに、受動的な弾性支持手段および受動的な振動減衰手段のうちの少なくとも一方を備えていることが良い。

【0018】また、本発明の除振装置には、変位を検出する変位検出手段を有することが好ましく、振動を検出する振動検出手段を有することが好ましい。この場合、前記振動検出手段は、加速度センサであることが良い。

【0019】さらに、前記変位検出手段と前記振動検出手段のうちの少なくとも一方の出力を補償し、その補償信号に基づいて前記第1アクチュエータと前記第2アクチュエータの少なくとも一方を駆動することが望ましく、前記変位検出手段の出力信号の補償信号は、前記空気圧駆動式アクチュエータにフィードバックされることが良く、前記振動検出手段の出力信号の補償信号は、前記電磁駆動リニアモータにフィードバックされることが良い。

【0020】また、前記空気圧駆動式アクチュエータは、力を発生する方向と直交する方向に対してあそびを有することが望ましく、特にベローズ構造を有することが好ましい。

【0021】また、本発明の除振装置に用いられる前記

空気圧駆動式アクチュエータは、内部圧力を調整するための圧力制御弁、もしくは、吸気・排気流量を調節する流量制御弁を有することが望ましく、願わくば、前記空気圧駆動式アクチュエータは、内部圧力を検出する圧力センサを備え、該圧力補償手段から得られる補償信号に基づき、前記圧力制御弁と前記流量制御弁の少なくとも一方を作動させる圧力制御ループを有することが良い。

【0022】また、本発明の除振装置に用いられる前記電磁駆動リニアモータは、可動磁石型リニアモータであることが望ましい。この場合、前記電磁駆動リニアモータは、対向する複数の磁石間の磁界中にコイルを配置することが良い。さらに、前記電磁駆動リニアモータは、補極磁石を備えることが好ましい。

【0023】また、本発明の除振装置に用いられる前記第1アクチュエータおよび第2アクチュエータは、複数配置されることが望ましい。この場合、複数配置された電磁駆動リニアモータまたは電磁駆動リニアモータのコイルは、いくつかの群に分けられ、同一群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータまたは電磁駆動リニアモータのコイルは、同一の駆動信号によって駆動されるのが良い。また、前記同一の駆動信号によって駆動される電磁駆動リニアモータまたは電磁駆動リニアモータのコイルは、電氣的に直列または並列に接続されていることが好ましい。

【0024】さらに、変位の目標値と複数台数配置された前記変位検出手段の出力信号から、並進・回転の運動モードの信号を抽出し、この抽出信号を補償し、複数台数配置された前記第1アクチュエータと前記第2アクチュエータのうちの少なくとも一方を駆動することが望ましく、また、複数台数配置された前記振動検出手段の出力信号から、並進・回転の運動モードの信号を抽出し、この抽出信号を補償し、複数台数配置された前記第1アクチュエータと前記第2アクチュエータのうちの少なくとも一方を駆動することも望ましい。

【0025】また、搭載した機器の状態または該機器の信号に基づき、補償演算を行う第1の前向き補償演算手段を備え、第1の前向き補償演算手段の補償信号に基づき、前記第1アクチュエータの駆動を行っても良い。また、搭載した機器の状態または該機器の信号に基づき、補償演算を行う第2の前向き補償演算手段を備え、該第2の前向き補償演算手段の補償信号に基づき、前記第2アクチュエータの駆動を行っても良い。

【0026】また、上述の除振装置を備えた露光装置や、この露光装置を用意するデバイス製造方法も本発明の範疇に入る。

【0027】さらに、上記課題を解決すべく本発明の除振方法は、防振支持された物体の変位または振動を検出し、検出値から物体の並進・回転の運動モードの信号を抽出し、この信号に基づいて補償を行い、鉛直方向と水平方向に力を発生する第1アクチュエータと、該鉛直方

向と水平方向のうちの少なくとも一方に力を発生し第1アクチュエータとは駆動原理が異なる第2アクチュエータの少なくとも一方を、補償信号に基づいて制御することがよく、また、除振装置に搭載された機器の状態または該機器の信号に基づき、前向き補償演算を行い、鉛直方向と水平方向に力を発生する第1アクチュエータと、該鉛直方向と水平方向のうちの少なくとも一方に力を発生し第1アクチュエータとは駆動原理が異なる第2アクチュエータの少なくとも一方を、補償信号に基づいて制御することが望ましい。

【0028】

【発明の実施の形態】<実施形態1>本発明では、半導体露光装置などの精密機器を搭載する除振台を支持し、かつ、前記搭載機器に悪影響をおよぼす有害振動を低減する以下の防振ユニットを開示する。

【0029】図1は、第1実施形態における能動除振装置の概略図を示している。以下、本実施形態について図1の図面とともに説明する。

【0030】半導体露光装置などの精密機器を搭載した定盤などの除振台1が、除振台1に剛に締結された防振ユニット50によって、支持されている。21は除振台1に鉛直方向の制御力を加える空気圧駆動式アクチュエータであるところの鉛直空気アクチュエータ、22は除振台1に水平方向の制御力を加える空気圧駆動式アクチュエータであるところの水平空気アクチュエータである。また、31は除振台1に鉛直方向の制御力を加える電磁駆動アクチュエータであるところの鉛直リニアモータ、32は除振台1に水平方向の制御力を加える電磁駆動アクチュエータであるところの水平アクチュエータである。防振ユニット50は、これら鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32を有している。

【0031】また、防振ユニット50は、除振台1または除振台1に剛に締結された防振ユニット50の鉛直方向および水平方向の加速度などの振動信号を検出する鉛直振動検出手段26aおよび水平振動検出手段26bとを備える。

【0032】なお、図1には示さないが、防振ユニット50には、この他に、ばね機構などからなる弾性支持手段、および、粘性ダンパなどの受動的な振動減衰手段なども備えることもできる。ただし、本発明で開示する装置のように、除振台1に制御力を加えるアクチュエータとして、後述する空気圧駆動式アクチュエータを用いる場合は、除振台1を支持する弾性支持手段として、この空気圧駆動式アクチュエータを兼ねることができ、さらに、本装置において、後述する制御を行うことで、除振台1の振動を減衰することも可能である。従って、図1に示すような、受動的な弾性支持手段や振動減衰手段を備えていない防振ユニット50でも、本発明の目的は十分に達成できる。

【0033】次に、除振台1に制御力を加える空気圧駆動式アクチュエータである鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22について説明する。

【0034】鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22としては、空気ばねと、この空気ばねの内部圧力を電氣的指令信号によって連続的に調整する圧力制御弁とからなるアクチュエータシステムや、空気ばねと、空気ばねへの給気・排気流量を調整する流量制御弁とからなるアクチュエータシステムなどを用いることができる。これらは、後で詳述するように、除振台1の基準位置に対する変位や、除振台1の振動の補償信号に基づいて駆動される。

【0035】鉛直空気アクチュエータ21は、図では省略した圧力制御弁または流量制御弁を調整して、空気ばねの内部圧力を上昇させることにより除振台1を上昇させる方向の力を、空気ばねの内部圧力を下降させることにより除振台1を下降させる方向の力を、それぞれ発生する。空気ばねを用いたこの種の空気圧駆動式アクチュエータは、空気ばねの内部圧力を上昇させる以外には力を発生できないが、鉛直空気アクチュエータ21の場合、除振台1の自重が予圧として加わっているため、その予圧力とのバランスによって、結果として、空気ばねの内部圧力を下降させることで除振台1を下降させる方向の力を発生することができる。

【0036】空気ばねは、力を発生する方向と直交する方向に対してあそびがあるように、ゴム製のペローズ構造を有している。ペローズ構造は、例えば鉛直空気アクチュエータを作動させたときに水平空気アクチュエータが干渉を受けないように、鉛直方向および水平方向の双方向の振動に対して除振を行うときに互いのアクチュエータが干渉しない構造になっている。また、力を発生する方向と直交する方向に対して可動であれば、ペローズ構造に限るものではなく、例えば、直交方向に対して補償機構を設けたシリンダ機構でも良い。

【0037】図1は、本実施形態の水平空気アクチュエータ22の第1構成例として、対向する2つの空気圧駆動式アクチュエータを有するものを示している。この例では、対向配置された2つの空気ばね23a、23bの発生力のバランスを制御することによって、除振台1に対して図1において矢印で示した+Xおよびその反対方向の-Xの双方向の力を発生できる。つまり、図では省略した圧力制御弁または流量制御弁を調整して、空気ばね23aの内部圧力を上昇させ、空気ばね23bの内部圧力を下降させることにより+X方向の力を、空気ばね23aの内部圧力を下降させ、空気ばね23bの内部圧力を上昇させることにより-X方向の力を、それぞれ発生できる。

【0038】なお、図1では、防振ユニット50内の水平空気アクチュエータ22は、水平1方向分しか記載されていないが、これを2つ以上用いて、複数の自由度方



向に制御力を加えることも可能である。

【0039】図2に空気圧駆動式アクチュエータの制御系の概念図を示す。

【0040】空気圧駆動式アクチュエータは、空気ばねの内部圧力を圧力センサ27で検出し、圧力指令信号と圧力センサ27の出力信号との差信号を圧力補償手段48で補償し、その補償信号に基づいて圧力制御弁または流量制御弁等の制御弁28を駆動する圧力制御ループを有するものが望ましい。図2は、圧力制御ループを有する鉛直空気アクチュエータの制御系の概略である。この場合、空気圧駆動式アクチュエータの入力信号（駆動指令信号）は、同図に示した圧力指令信号となる。

【0041】次に、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32として用いられるリニアモータの説明を行う。

【0042】図3は、本実施形態の鉛直リニアモータ31または水平リニアモータ32として用いられる電磁駆動リニアモータの第1の構成例を示している。

【0043】図3に示される電磁駆動リニアモータは、1つのコイル巻線33cを含むコイルアセンブリ33aと、対向する2対の永久磁石33dを有するマグネットアセンブリ33bとからなる単相リニアモータ33である。

【0044】コイルアセンブリ33aは、図3に示すように、マグネットアセンブリ33bにより形成される磁気回路中に、マグネットアセンブリ33bに接触しないように配置する。コイル巻線33cには、銅線などを数百ターン巻いたものを用いることができる。

【0045】マグネットアセンブリ33bには、図3に示すように、コイル巻線33cを中心にして対向する2対の永久磁石33dが、互いに逆極性で、かつ、2対の永久磁石の対、それぞれによる磁束の方向が互いに逆方向となるように磁気回路を構成する。つまり、図3に示したように、永久磁石をN-Sと配列したものとS-Nと配列したものを対向配置する。同図に示したS、Nの磁石の極性は、各永久磁石のコイル巻線33cに面した側のものである。

【0046】ここで、磁界中に磁束に直交するように配置されたコイル巻線33cに電流を流すと、コイル巻線に流れる電流と磁界の相互作用により、コイルアセンブリ33aとマグネットアセンブリ33bとの間に、磁束とコイル電流方向とに直交する方向に推力を発生することができる。図3では、コイル33cに矢印iの方向に電流を流すと、コイルアセンブリ33a、マグネットアセンブリ33bにはそれぞれ矢印fで示された方向に、コイル電流およびコイル巻線33cの存在する空間の磁束密度に比例した推力が作用する。

【0047】従って、コイルアセンブリ33aを本除振装置が設置される装置設置基礎または装置設置基礎に剛に締結された部材に、マグネットアセンブリ33b

を除振台1または除振台1に剛に締結された部材に装着することにより、この電磁駆動リニアモータを、除振台1に制御力を加えるアクチュエータとして用いることができる。

【0048】この種の電磁駆動リニアモータは、コイルアセンブリとマグネットアセンブリとの間に機械的干渉機構がなく、相互に非接触で機械的に振動絶縁されるという特徴がある。除振装置では、2つの構造体、すなわち、除振台と装置設置基礎との間の振動伝達を極力抑制したいという要求があり、この種の電磁駆動リニアモータは、このような除振技術の分野に好適に用いることができる。また、この構成の電磁駆動リニアモータは平板で偏平な構造につくることができ、空間的な配置効率を高め、防振ユニットへの電磁駆動リニアモータの実装をより容易に行うことができる。

【0049】なお、本発明が開示する除振装置においては、電磁駆動リニアモータを、コイルアセンブリを装置設置基礎または装置設置基礎に剛に締結された部材に、マグネットアセンブリを除振台1または除振台1に剛に締結された部材にそれぞれ装着した、可動磁石型として用いることが望ましい。コイル巻線には電気抵抗があり、これに電流を流すことによって熱が発生する。除振台1に搭載された精密機器への精度面での影響を考えると、除振台1やそれに剛に締結された部材には発熱体であるコイルアセンブリではなくマグネットアセンブリを装着することが望ましい。こうすることにより、防振ユニットを構成する部材を経由した精密機器への直接的な熱伝達を抑制でき、電磁駆動リニアモータが存在する空間の雰囲気気を介した熱の伝達への対策を重点的に施せばよくなる。また、コイルアセンブリが、装置設置基礎または装置設置基礎に剛に締結された部材に配置されると、可動部にコイルを設けるよりもコイルの配線が容易となる。空間の雰囲気気を介した熱の伝達は、例えば、電磁駆動リニアモータを熱容量の大きい金属部材などで囲み、その中の雰囲気気を吸引することにより、容易に低減できる。

【0050】これらの電磁駆動リニアモータは、除振台1各部に複数台数配置され、かつ、各電磁駆動リニアモータはいくつかの群に分けられ、同一の群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータは、同一の駆動指令信号によって駆動されるようにしてもよい。さらに、この中で、同一の駆動指令信号によって駆動される複数の電磁駆動リニアモータは、さらに少なくとも1以上の群に分けられ、それらの中で同一の群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータは、電気的に並列または直列に接続され、駆動されるものであってもよい。

【0051】また、鉛直方向に関しても水平方向に関しても、空気圧駆動式アクチュエータの作用軸と電磁駆動リニアモータの作用軸が、ほぼ一致していることが望ましい。

【0052】次に、防振ユニット50の動作について説明する。

【0053】図4は、本実施形態の防振ユニット50の水平方向の制御系の概略を示しているが、鉛直方向の制御系もこれと同様である。

【0054】防振ユニット50は、鉛直変位検出手段25a、水平変位検出手段25b、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bおよびその他の機器の信号に基づき、鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32を駆動することにより動作する。

【0055】鉛直変位検出手段25a、水平変位検出手段25bには、渦電流センサなどの共振式変位センサを用いることができる。鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bには、加速度センサを用いることができる。

【0056】まず、鉛直変位検出手段25a、水平変位検出手段25bの出力信号に基づいて行なう変位制御動作について説明する。ここでは、この動作を便宜上、変位制御とよぶことにする。除振台1または除振台1に剛に締結された防振ユニット50の基準位置に対する鉛直および水平変位を、鉛直変位検出手段25a、水平変位検出手段25bでそれぞれ検出する。そして、それらの検出信号を補償演算手段40に入力し、除振台1の基準位置に対する変位の目標値と鉛直変位検出手段25a、水平変位検出手段25bの出力信号の差信号、すなわち、鉛直、水平の基準位置に対する偏差信号を算出する。ここで算出された偏差信号は、偏差補償演算手段41に入力され、ここで補償演算を施される。偏差補償演算手段41は、PID補償（比例・積分・微分補償）などの制御手法で、前記の偏差信号に対して、補償演算を施す。特に、この変位制御動作では、除振台1を所定の目標位置に偏差なく位置させるために、積分動作を含むPI補償（比例・積分補償）などの補償演算を施すことが望ましい。そして、前記補償演算の結果として得られる偏差補償信号を、前記のアクチュエータ、すなわち、鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22または鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32の駆動回路に入力して、各アクチュエータを駆動させることにより、除振台1を、所定の目標位置に正しく位置させる。

【0057】なお、この変位制御動作では、除振台1を所定位置に保つため、除振台1に定常的に推力を作用させる必要がある。特に、除振台1の鉛直方向の位置を所定位置に保つためには、除振台1を支持するに足る推力が前記の各アクチュエータに要求される。除振台1は、除振効果を高めるため重量を大きくする場合があり、この除振台1を所定位置に維持するために、定常的に大きな推力を発生する必要がある。

【0058】しかし、鉛直リニアモータ31、水平リニア

モータ32に用いる電磁駆動リニアモータでは、コイルに電流を流すと熱が発生する。特に、変位制御動作に電磁駆動リニアモータを用い、それらに定常的に大推力を発生させると、コイルからの発熱が大きくなり、防振ユニット50、さらには、除振台1にも熱が伝わり、各部位の温度を上昇させてしまう。

【0059】本発明が開示する除振装置は、精密機器を搭載することを目的としているが、当該分野では、除振台1やそれに搭載される機器の温度変化による部材の伸縮によって、精密機器の測定精度や動作精度が大きな悪影響を受けてしまう。

【0060】そこで、変位制御動作に用いるアクチュエータもしくは、定常推力を発生させるアクチュエータは、図4に示すように鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22といった空気圧駆動式アクチュエータとし、過渡的な動作においてのみ、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32といった電磁駆動リニアモータを併用することが望ましい。

【0061】次に、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bの出力信号に基づいて行なう振動制御動作について説明する。ここでは、この動作を便宜上、振動制御とよぶことにする。まず、除振台1の鉛直および水平振動を、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bでそれぞれ検出する。そして、それらの検出信号を振動補償演算手段42に入力し、補償演算処理を施す。鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bとしては、加速度センサを用いることが一般的である。本実施例では、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bとして加速度センサを用いる場合について説明する。

【0062】さて、この振動制御動作では、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26b（加速度センサ）で得られた信号に対して比例補償、積分補償またはPI補償（比例・積分補償）などの演算処理を施す。振動制御動作は、除振台1の加速度に比例した力を除振台1に作用させることにより質量項をフィードバックする方法、除振台1の速度に比例した力を除振台1に作用させることによる減衰項をフィードバックする方法、あるいは両者を組みあわせた方法、などにより実現される。

【0063】ここでは、除振台1の速度に比例した力を除振台1に作用させることにより、除振台1の振動を減衰する方法を例に、振動制御動作を説明する。なお、振動制御動作を実現するために用いるアクチュエータに鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22を用いる場合と、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32を用いる場合とでは、一般には補償演算方法が異なるので、それぞれの補償方法について説明する。

【0064】まず、鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22を用いる場合について説明する。ここでは、空気圧駆動式アクチュエータの応答速度

が非常に遅く、その駆動指令信号に対する発生推力の応答周波数が、除振台1と除振台1を防振支持する支持機構からなる振動系の固有振動数より1桁以上小さいとする。この場合、除振台1の振動系の固有振動数近傍の周波数領域では、空気圧駆動式アクチュエータは、積分特性を有するアクチュエータとして機能する。従って、主たる制御帯域、つまり、除振台1の振動系の固有振動数近傍の周波数領域で、除振台1の速度に比例した力を除振台1に作用させるためには、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bで検出した除振台1の加速度を、比例補償（ゲイン補償）して、鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22にフィードバックすればよい。こうすることにより、アクチュエータが積分特性を有するので、結果的に除振台1の速度に比例した推力が除振台1にフィードバックされることになるからである。

【0065】空気圧駆動式アクチュエータの応答速度が比較的早く、その応答周波数が、除振台1と除振台1を防振支持する支持機構からなる振動系の固有振動数と大きく離れていない場合については、空気圧駆動式アクチュエータの応答周波数にゼロ点を有するようパラメータを設定したPI補償（比例・積分補償）器を用いて、除振台1の加速度信号を補償し、鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22にフィードバックすればよい。こうすることにより、PI補償器のゼロ点と空気圧駆動式アクチュエータの極（固有値）が相殺して、PI補償器と空気圧駆動式アクチュエータをあわせた部分が積分要素となり、結果として、除振台1の加速度の積分に比例した力、つまり速度比例信号が除振台1に付与されることになるからである。

【0066】次に、振動制御動作に鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32を用いる場合について説明する。通常、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32のような電磁駆動リニアモータの駆動指令信号に対する発生推力の応答周波数は、除振台1と除振台1を防振支持する支持機構からなる振動系の固有振動数より十分に高い。除振台1と除振台1を防振支持する支持機構からなる振動系の固有振動数は、数Hzから、高い場合でも、数十Hz程度である。一方、電磁駆動リニアモータは、コイル巻数が多いと比較的インダクタンスが大きくなり、これを電圧源で駆動すると、100Hz以下の応答周波数となる場合もあるが、電磁駆動リニアモータの駆動には電流フィードバックを有する駆動回路を用いることが一般的であり、その場合は、電流フィードバックの効果で100Hz以上の応答周波数を容易に実現できる。従って、除振台1の振動系の固有振動数近傍の周波数領域では、電磁駆動リニアモータはゲイン特性を有するものとみなせる。よって、除振台1の速度に比例した力を除振台1に作用させるためには、鉛直振動検出手段26a、水平振動検出手段26bで検出した除振台1の

加速度を積分補償して、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32にフィードバックすればよい。

【0067】なお、図4に示すように、本発明で開示する除振装置においては、除振台1の加速度信号などに基づいた振動制御動作は、主に応答性の高い電磁駆動リニアモータを用いて行なうことが望ましい。高速・高加速度で動作する露光用XYステージの駆動反力に対して、応答性よく追従して制御を行なう必要があるからである。逆に、電磁駆動リニアモータに比較して、応答が緩慢な空気圧駆動式アクチュエータを用いて振動制御を行なうと、露光用XYステージの高速・高加速度動作に十分に対応できないばかりか、空気圧駆動式アクチュエータ自体の能力を越えた領域での使用を余儀なくされ、装置特性のバラツキを招くおそれもある。従って、振動制御動作には、電磁駆動リニアモータを用いるか、電磁駆動リニアモータと空気圧駆動式アクチュエータを、電磁駆動リニアモータの負担割合を高めた形で併用することが望ましい。

【0068】なお、本実施例において、除振台1の変位制御動作は、除振台1の基準位置に対する並進および回転の各運動モードの目標値と、除振台1の基準位置に対する鉛直および水平方向の変位を検出する複数の変位検出手段の出力信号から、除振台1の並進、回転などの各運動モードの基準位置に対する偏差信号を抽出し、それらの信号に補償演算を施し、それによって得られた各運動モードの補償信号を、除振台1各部に複数台数配置された除振台1に制御力を加える各アクチュエータに分配するものであることが望ましい。

【0069】同様に、本実施例において、除振台1の振動制御動作は、除振台1の鉛直および水平方向の振動を検出する複数の振動検出手段の出力信号から、除振台1の並進、回転などの各運動モードの振動信号を抽出し、それらの信号に補償演算を施し、それによって得られた各運動モードの補償信号を、除振台1各部に複数台数配置された除振台1に制御力を加える各アクチュエータに分配するものであることが望ましい。

【0070】次に、上記の変位検出手段、振動検出手段、以外の機器からの信号に基づき、各アクチュエータを制御する動作について説明する。

【0071】まず、除振台1に搭載された露光用XYステージなどの駆動手段を備えた機器の動作状態、または制御手段からの信号に適切な補償演算を施し前記電磁駆動リニアモータまたは前記の空気圧駆動式アクチュエータを駆動する場合の動作について説明する。

【0072】図4に示すように、除振台1に、露光用XYステージ45などの駆動手段を備えた機器が搭載されているとする。この露光用XYステージ45は電磁モータとボールネジなどからなる直動機構または電磁駆動リニアモータなどにより、XYの2自由度方向に運動可能である。この露光用XYステージ45を駆動する電磁モ

ータあるいは電磁駆動リニアモータは、XYステージ制御手段46からの信号に基づき、XYステージ駆動回路47を介して駆動される。

【0073】ここで、XYステージ制御手段46からの信号または露光用XYステージの駆動状態に関する信号を入力とし、それに適切な演算処理を施し、その演算結果を、除振台1に制御力を加えるアクチュエータの駆動回路に送る前向き補償演算手段を用いて、制御を行なう。

【0074】前向き補償演算の方法には以下の2つがある。ひとつは、露光用XYステージ45が駆動されるときに発生する駆動反力を打ち消すように制御を行なうための補償演算、もうひとつは、露光用XYステージ45の荷重が除振台1上を移動することによる除振台支持機構のモーメントバランスの変化を補償して荷重移動による除振台1の傾きを補正するための補償演算である。

【0075】前者は、主に露光用XYステージ45の加速度またはその駆動反力に比例する信号をもとに、所望の制御帯域でそれに比例する力が除振台1に付与されるよう、第1の前向き補償演算手段43でバンドパスフィルタなどで適切な補償演算を施すことによって実現できる。第1の前向き補償演算手段43の出力として得られる補償信号は、鉛直リニアモータ31、水平リニアモータ32といった電磁駆動リニアモータに送られ、露光用XYステージ45が駆動されるときに発生する駆動反力を打ち消すように作用する。露光用XYステージ45の高速・高加速度動作に対応するために、この動作に用いるアクチュエータは、電磁駆動リニアモータである必要がある。

【0076】後者は、主に露光用XYステージ45の変位に比例する信号をもとに、図4では省略した第2の前向き補償演算手段でバンドパスフィルタなどで適切な補償演算を施すことによって実現できる。第2の前向き補償演算手段の出力として得られる補償信号は、鉛直空気アクチュエータ21、水平空気アクチュエータ22といった空気圧駆動式アクチュエータに送られ、露光用XYステージ45の荷重が除振台1上を移動することによる除振台支持機構のモーメントバランスの変化を補正するように作用する。この動作では、露光用XYステージ45の位置に依存する支持機構の定常的なモーメントバランスを維持するために、定常的に推力を発生する必要がある。空気圧駆動式アクチュエータの使用が望ましい。

【0077】これらの制御動作に関しても、前述の変位制御動作、振動制御動作と同様に、露光用XYステージの駆動によって発生する力、加速度、変位などの情報を、除振台1の並進、回転などの各運動モードの信号に変換し、各運動モードごとに適切な補償演算を施し、その補償信号を、除振台1各部に複数台数配置された除振台1に制御力を加える各アクチュエータに分配することが望ましい。

【0078】また、本発明で開示する装置において、前記の位置制御動作、振動制御動作を行なう制御ループ、除振台1に搭載された露光用XYステージなどの駆動手段を備えた機器の動作状態、またはその制御手段からの信号に適切な補償演算を施して除振台1に制御力を加えるアクチュエータを駆動する制御系に加えて、さらに除振台1とそれを防振支持する支持機構からなる除振系が設置されている床などの装置設置基礎の振動を検出し、その検出信号を、適切に補償して、除振台1に制御力を加えるアクチュエータにフィードフォワードする制御系を併設してもよい。

【0079】本実施形態により、定常的に大推力を発生できる空気圧駆動式アクチュエータを用いて精密機器などを搭載した大重量の除振台を所定位置に支持すると共に、応答性の優れた電磁駆動アクチュエータを用いて、露光用XYステージのような搭載機器の高速・高加速度動作にも対応でき、迅速な振動制御を実現するので、従来の除振台では実現し得なかった、除振性能と制振性能の両立を可能にすることができる。

【0080】また、本実施形態では、力を発生する方向と直交する方向にあそびを有する空気圧駆動式アクチュエータと、非接触の電磁駆動リニアモータとを併用することによって、鉛直方向だけでなく、水平方向に関しても除振性能と制振性能の両立が可能である。また、ペローズ構造を用いて空気圧駆動式アクチュエータを構成することにより、除振装置の各構成要素をよりコンパクトにするとともに、それらを効率よく配置し、ユニットとしてまとまりのよい除振装置を実現可能にした。ここで、本実施形態では、鉛直方向および水平方向の両方向に関して空気圧駆動式アクチュエータおよび電磁駆動リニアモータを設けたが、ある方向に関して、特に除去したい変位モードや振動モードがあり、このモードの除去が空気圧駆動式アクチュエータまたは電磁駆動リニアモータのみで行えるのであれば、その方向に関しては、空気圧駆動式アクチュエータと電磁駆動リニアモータの両方を備える必要はない。

【0081】また、本実施形態では、電磁駆動アクチュエータのコイル巻線は、装置設置基礎側の部材に取付けられているために、コイルが発生する熱による温度上昇によって、除振台上の精密機器に及ぼす悪影響を軽減することができ、また、コイルの配線も容易となり、精密機器の除振・制振装置として好適に用いることができる。

【0082】さらに、本実施形態に用いたりニアモータは、平板型の構造をしているため、円筒形をしたボイスコイルモータ等の電磁駆動モータを使用した場合と比較して、装置の空間配置の自由度が高くなり、コンパクトな構成の能動除振装置を実現することができる。

【0083】＜実施形態2＞図5は、第2実施形態における能動除振装置の概略図を示している。

【0084】図5に示された水平空気アクチュエータ22は、コイルばねなどの予圧機構24が空気ばね23cと力学的に並列に構成されたタイプの空気圧駆動式アクチュエータを備えている。他の構成要素および制御方法については、前述の実施形態と同様なので、説明を省略する。

【0085】予圧弾性構造体24は、水平空気アクチュエータ22の中立位置において、あらかじめ収縮方向に所定量予圧を加えた状態にしておく。本実施形態では、空気ばね23cの内部圧力を上昇させることにより、除振台1に対して図5内に矢印で示した+X方向の力を加えることができる。また、空気ばね23cの内部圧力を下降させた場合、空気ばね23c自体はその収縮方向には力を発生することはできないが、空気ばね23cと力学的に並列に構成された予圧弾性構造体24の弾性力により、アクチュエータ全体として、-X方向の力を発生することができる。

【0086】なお、図5では、防振ユニット50内の水平空気アクチュエータ22は、水平1方向分しか記載されていないが、これを2つ以上用いて、複数の自由度方向に制御力を加えることも可能である。

【0087】本実施形態では、予圧機構の作用軸と空気ばねの作用軸がほぼ一致していることが望ましく、さらに、水平リニアモータの作用軸がほぼ一致していることが望ましい。

【0088】本実施形態では、前述の実施形態で得られる効果が得られるほか、水平方向の空気ばねが、一つで済むため、空気ばねの配管や圧力制御装置の設置が容易である。

【0089】＜実施形態3＞図6は、第3実施形態における能動除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図を示している。

【0090】前述の実施形態のリニアモータでは一つのコイル巻線である単相リニアモータであったが、本実施形態のリニアモータでは2つのコイル巻線が用いられる。

【0091】図中の電磁駆動リニアモータは、2つのコイル巻線を含むコイルアセンブリ34aと、対向する4対の永久磁石を有するマグネットアセンブリ34bとを備えている。これは、前述した電磁駆動リニアモータの第1の例であげた単相リニアモータを、推力発生方向に2台直列に接続して一体化した構造のものであり、図中の矢印iで示した方向の推力を両アセンブリ間に作用させるためには、各コイル巻線に矢印iで示した方向の電流を流せばよい。

【0092】この構成の電磁駆動リニアモータは、前述の単相リニアモータ2台分の推力特性を有しながら、コイルアセンブリ、マグネットアセンブリを一体化したため、それらを部材に取り付けるための部位の寸法を節約でき、防振ユニットへの電磁駆動リニアモータ実装

に必要な空間寸法をより小さなものにすることができ

る。  
【0093】また、電磁駆動リニアモータは、除振台1各部に複数台数配置され、かつ、各電磁駆動リニアモータはいくつかの群に分けられ、同一の群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータは、同一の駆動指令信号によって駆動されるようにしてもよい。また、同様に、これらの電磁駆動リニアモータは、除振台1各部に複数台数配置され、かつ、各電磁駆動リニアモータのコイル巻線はいくつかの群に分けられ、同一の群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータのコイル巻線は、同一の駆動指令信号によって駆動されるようにしてもよい。

【0094】さらに、この中で、同一の駆動指令信号によって駆動される複数の電磁駆動リニアモータまたはコイル巻線は、さらに少なくとも1以上の群に分けられ、それらの中で同一の群に含まれる複数の電磁駆動リニアモータまたはコイル巻線は、電氣的に並列または直列に接続され、駆動されるものであってもよい。

【0095】このように、同一の群の電磁駆動リニアモータまたはコイル巻線を同一の駆動信号によって駆動することで、複数の電磁駆動リニアモータを駆動するために必要な制御系を簡略化することができる。また、同一の群の電磁駆動リニアモータまたはコイル巻線を、電氣的に並列または直列に接続して駆動することでも複数のリニアモータの制御系を簡略化することができる。

【0096】本実施形態によるリニアモータを能動除振装置の電磁駆動リニアモータに用いれば、上述した効果のほかに、前述の第1および第2実施形態で得られた効果を得ることができる。

【0097】＜実施形態4＞図7は、第4実施形態における能動除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図を示している。

【0098】図中の電磁駆動リニアモータは、2つのコイル巻線を含むコイルアセンブリ35aと、対向する4対の永久磁石を有するマグネットアセンブリ35bとを備えている。これは、前述した電磁駆動リニアモータの第1実施形態であげた単相リニアモータを、推力発生方向に2台直列に接続して一体化した構造のものである。

【0099】図6に示される第3実施形態のリニアモータは、マグネットアセンブリ34aの磁石の極性をN S N Sと配列したものとS N S Nと配列したものを対向させたものであるが、本実施形態のリニアモータは、マグネットアセンブリ35aの磁石の極性をN S S Nと配列したものとS N N Sと配列したものを対向させたものである点異なる。

【0100】図中の矢印fで示した方向の推力を両アセンブリ間に作用させるためには、各コイル巻線に矢印iで示した方向の電流を流せばよい。この際、同じ方向に推力を発生させるためのコイル電流方向が、片方のコ

イル巻線で異なることに注意されたい。

【0101】まず、図8の単相リニアモータの概略図を示す。この単相リニアモータは、所定方向への推力発生に寄与しない部分のコイルが磁界との相互作用により他成分を発生させる可能性がある。この電磁駆動リニアモータにおいて、所定方向への推力発生に寄与する部分は、同図aの部分である。これに対して、同図bおよびcの部分は、所定方向の推力発生に寄与しないばかりか、その部分を通れる電流とマグネットアセンブリで形成される磁界との相互作用により、矢印d1、d2およびe1、e2の推力をコイルアセンブリとマグネットアセンブリとの間に発生させる。

【0102】ここで、bの部分とcの部分が全く同形状かつ対称であり、かつ、その部分の磁束分布も全く同じであれば、矢印d1、d2、e1、e2で示した他成分の推力は相互に相殺する。しかし、実際には、コイル巻線の巻始めあるいは巻終わり位置から電磁駆動リニアモータのリード線までのコイル線の引き出し部の処理をb部あるいはc部で行なったりすることがあり、その影響によってb部とc部のコイル巻線の形状に差異を生じることがある。また、その他のコイル巻線製作上のコスト的、あるいは、技術的問題により、b部とc部のコイル巻線の形状に差異を生じることが少なくない。さらに、マグネットアセンブリ上に配置された永久磁石の着磁ムラや、コイルアセンブリとマグネットアセンブリの位置合わせ精度などの影響で、b部とc部の磁束分布が異なるケースもありうる。こうした場合は、b部で発生する推力他成分d1、d2と、c部で発生する推力他成分e1、e2との間に差異が生じ、結果として電磁駆動リニアモータの所定推力方向以外の他成分の推力が発生してしまう。この他成分の推力は、電磁駆動リニアモータが大きな推力を出しているときほど、大きく発生する。

【0103】特に、この種の電磁駆動リニアモータはコイルアセンブリとマグネットアセンブリとの間に軸受けなどの機械的運動拘束機構がないため、他成分の推力がそのまま外乱力になる。この外乱力は、この電磁駆動リニアモータの構造的特徴から、主としてコイルアセンブリとマグネットアセンブリとを相互に磁界方向を軸とした回転方向に回転させようとするモーメントとして作用する。

【0104】図6に示す、第3実施形態であげた種類の電磁駆動リニアモータでも、これと同様の理由から、コイルアセンブリとマグネットアセンブリとの間で他成分推力が発生する可能性がある。

【0105】これに対して、図7に示した本実施形態の電磁駆動リニアモータのように永久磁石の極性をNSSNと配列したものとSNNSと配列したものを対向させたリニアモータの場合、2つのコイルに電流を流して同一方向に推力を発生させようすると、2つのコイル

個々の所定方向の推力発生に寄与しない部分のコイル巻線に起因する推力は、2つのコイル巻線で相互に逆方向に作用する。よってこの部分が発生するモーメントが相殺する方向に作用し、コイルアセンブリとマグネットアセンブリとの間に発生するモーメントを低減することができる。特に、双方のコイル巻線を同程度の磁束密度の磁界中に配置し、双方のコイル巻線に同電流を流すと、前述した他成分推力、モーメントはほぼ相殺できる。従って、本発明のような形態で電磁駆動リニアモータを防振ユニットに適用する際には、ここであげたような、磁石の極性をNSSNと配列したものとSNNSと配列したものを対向させ、その中に2つのコイルを配置したタイプのものを用いることが望ましい。

【0106】本実施形態では、上述の効果のほか、前述の第1～3実施形態に述べられた効果を得ることができる。

【0107】＜実施形態5＞図9は、第5実施形態における能動除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図を示している。

【0108】本実施形態では同図に示す通り、2つのコイル巻線と3対の永久磁石からなるものである。これは、前述の、2つの電磁駆動リニアモータを一体化したタイプのもので、磁石の極性をNSSNと配列したものとSNNSと配列したものを対向させ、さらに、中央の2つの永久磁石を一体化したものである。つまり、永久磁石の極性をNSNと配列したものと、SNSと配列したものを対向させた形にして磁気回路を構成する。

【0109】この場合は、前述の4対の永久磁石を用いた電磁駆動リニアモータに比較して、部品、つまり永久磁石の必要点数を削減でき、コストダウンに寄与できる。

【0110】なお、これらの2つのコイル巻線を有する電磁駆動リニアモータを用いる場合も、これを可動磁石型として適用し、コイルアセンブリは装置設置基礎または装置設置基礎に剛に締結された部材に、マグネットアセンブリは除振台1または除振台1に剛に締結された部材に装着することが望ましい。

【0111】本実施形態では、上述の効果のほか、前述の第1～4実施形態に述べられた効果を得ることができる。

【0112】＜実施形態6＞図10に第6実施形態における能動除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略を示す。

【0113】本実施形態では、単相リニアモータのマグネットアセンブリの磁石に補極磁石37を適用している。

【0114】本実施形態のように、電磁駆動リニアモータの磁気回路において、主たる磁石に加えて補極磁石を追加すると、コイルアセンブリが存在する磁界の磁束分布をより適正化でき、コイルが存在する空間の磁束を

より均質かつ強いものとすることができるため、電磁駆動リニアモータの推力定数を上げることができる。

【0115】図中では、単相リニアモータを用いているが、これに限るものではなく、前述の第3～5実施形態のような複数のコイル巻線を有する電磁駆動リニアモータにおいても、本実施形態のような補極磁石を適用することができる。

【0116】本実施形態では、上述の効果のほか、前述の第1～5実施形態に述べられた効果を得ることができる。

【0117】＜実施形態7＞次に前述した実施形態の除振装置を搭載した走査型露光装置の実施形態を、図11を用いて説明する。

【0118】鏡筒定盤96は床または基盤91から防振ユニット50を介して支持されている。また鏡筒定盤96は、レチクル定盤94を支持すると共に、レチクルステージ95とウエハステージ93の間に位置する投影光学系97を支持している。

【0119】ウエハステージ93は、床または基盤91から支持されたステージ定盤92上に支持され、ウエハを載置して位置決めを行う。また、レチクルステージ95は、鏡筒定盤96に支持されたレチクルステージ定盤94上に支持され、レチクルを搭載して移動可能である。レチクルステージ95上に搭載されたレチクルをウエハステージ93上のウエハに露光する露光光は、照明光学系99から発生される。

【0120】なお、ウエハステージ93は、レチクルステージ95と同期して走査される。レチクルステージ95とウエハステージ93の走査中、両者の位置はそれぞれ干渉計によって継続的に検出され、レチクルステージ95とウエハステージ93の駆動部にそれぞれフィードバックされる。これによって、両者の走査開始位置を正確に同期させるとともに、定速走査領域の走査速度を高精度で制御することができる。

【0121】本実施形態では、前述の実施形態の能動型除振装置を用いているため、鏡筒定盤やステージ定盤の外部振動の除振性能を適切に有すると共に、レチクルステージやウエハステージの移動に伴って発生する並進・回転方向の振動に対して適切な制振性能を有しているため、高速・高精度な露光が可能となる。

【0122】本実施形態では、ステージ定盤と鏡筒定盤が独立して構成され、それぞれに除振装置が備えられているが、鏡筒定盤とステージ定盤が一体となった構成で、同じ除振装置上に搭載された構成になった場合でも、この除振装置に前述の実施形態の能動型除振装置を用いれば、同様な効果が得られ、高速・高精度な露光が可能となる。この場合、ウエハステージを支持するステージ定盤とレチクルステージを支持するレチクル定盤が、同一の防振ユニットを介して床から支持された構造になるため、防振ユニットの制御方法としては、ウエハ

ステージおよびレチクルステージの両方のステージ制御手段からの信号に基づき、制御力を加えるアクチュエータの駆動回路に送る前向き補償演算手段を用いて、防振ユニットの制御を行っても良い。

【0123】＜実施形態8＞次に上記説明した露光装置を利用した半導体デバイスの製造方法の実施例を説明する。図12は半導体デバイス（ICやLSI等の半導体チップ、あるいは液晶パネルやCCD等）の製造フローを示す。ステップ11（回路設計）では半導体デバイスの回路設計を行なう。ステップ12（マスク製作）では設計した回路パターンを形成したマスクを製作する。ステップ13（ウエハ製造）ではシリコン等の材料を用いてウエハを製造する。ステップ14（ウエハプロセス）は前工程と呼ばれ、上記用意したマスクとウエハを用いて、リソグラフィ技術によってウエハ上に実際の回路を形成する。ステップ15（組み立て）は後工程と呼ばれ、ステップ4によって作製されたウエハを用いて半導体チップ化する工程であり、アセンブリ工程（ダイシング、ボンディング）、パッケージング工程（チップ封入）等の工程を含む。ステップ16（検査）ではステップ15で作製された半導体デバイスの動作確認テスト、耐久性テスト等の検査を行なう。こうした工程を経て半導体デバイスが完成し、これが出荷（ステップS17）される。

【0124】図13は上記ウエハプロセスの詳細なフローを示す。ステップ21（酸化）ではウエハの表面を酸化させる。ステップ22（CVD）ではウエハ表面に絶縁膜を形成する。ステップ23（電極形成）ではウエハ上に電極を蒸着によって形成する。ステップ24（イオン打込み）ではウエハにイオンを打ち込む。ステップ25（レジスト処理）ではウエハに感光剤を塗布する。ステップ26（露光）では上記説明した露光装置によってマスクの回路パターンをウエハに焼付露光する。ステップ27（現像）では露光したウエハを現像する。ステップ28（エッチング）では現像したレジスト像以外の部分を削り取る。ステップ29（レジスト剥離）ではエッチングが済んで不要となったレジストを取り除く。これらのステップを繰り返すことによって、ウエハ上に多重に回路パターンが形成される。本実施例の製造方法を用いれば、従来は製造が難しかった高集積度の半導体デバイスを製造することができる。

【0125】

【発明の効果】本発明の請求項1記載の除振装置によれば、鉛直方向および水平方向に対して力を発生することで物体の振動を能動的に軽減でき、しかも各構成要素をよりコンパクトにし、除振装置を効率良く配置した、まとものよい除振装置を提供することができる。

【0126】また、本発明の請求項2記載の除振装置によれば、空気圧駆動式アクチュエータの使用によって熱をほとんど発生させず、定常的に大きな推力を発生する

ことができる。さらに、電磁駆動リニアモータを併用することで、応答性良く除振を行うことができる。

【0127】また、本発明の請求項5記載の除振装置によれば、対向する空気圧駆動式アクチュエータを用いることで、水平方向に対して大きな推力を発生させることができ、かつ変位を与えることができる。また、本発明の請求項6記載の除振装置によれば、空気圧駆動式アクチュエータと予圧機構を用いることで、水平方向に対して大きな推力や変位を与えることができるほか、空気圧の制御や配管を容易に行うことができる。

【0128】また、本発明の請求項10記載の除振装置によれば、変位検出手段により変位を検出することができ、また、請求項11記載の除振装置によれば、振動検出手段により振動を検出することができる。さらに、請求項13記載の除振装置によれば、変位や振動を検出し、その検出値に基づいて第1アクチュエータおよび第2アクチュエータの力を発生させることで高精度でコンパクトな鉛直方向および水平方向の防振を行うことができる。

【0129】また、本発明の請求項16記載の除振装置によれば、空気圧駆動式アクチュエータは、力を発生する方向と直交する方向に対してあそびを有するため、鉛直方向および水平方向の空気圧駆動式アクチュエータが互いに干渉せず、両方向の除振を両立させることができる。さらに請求項17記載の除振装置によれば、ベローズ構造を用いて空気圧駆動式アクチュエータを構成するため、コンパクトでまとまりの良い除振装置を提供できる。

【0130】また、請求項20記載の除振装置により、除振を行う必要がある物体に対して発熱の影響を軽減させることができるほか、コイルの配線が容易となる。さらに、請求項24記載の除振装置によれば、電磁駆動リニアモータに発生する望ましくない推力成分を容易に軽減させることができ、高精度で低コストの電磁駆動リニアモータを用いることで、高精度な除振装置を提供することができる。また、請求項25記載の除振装置によれば、電磁駆動リニアモータの磁束を均質かつ強いものとすることができ、電磁駆動リニアモータの推力を向上させ、高精度な除振装置が実現できる。

【0131】本発明の請求項26記載の除振装置によれば、複数の第1および第2アクチュエータを配置することで、並進・回転の運動モードの除振・制振を行うことが可能となる。また、請求項27または28記載の除振装置により、除振装置の制御系の信号や配線を簡略化でき、低コスト化を図ることができる。

【0132】また、本発明の請求項31または32記載の除振装置により、搭載した機器の除振を前向き補償によって防振することができる。

【0133】また、本発明の請求項36記載の露光装置により、露光装置の構成要素が高精度に除振されているため、高速、高精度な露光を行うことができる。

【0134】さらに、請求項38または39のデバイス製造方法により、高速、高精度にデバイスを製造することができる。

【0135】また、請求項40記載の除振方法によれば、防振支持された物体の鉛直および水平方向に高精度な除振を行うことができ、請求項41記載の除振方法によれば、除振装置に搭載された機器を前向き補償によって鉛直および水平方向に高精度な除振を行うことができる。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】第1実施形態の除振装置の概略図

【図2】第1実施形態の除振装置に用いられる空気圧駆動式アクチュエータの制御系の概略図

【図3】第1実施形態の除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図

【図4】第1実施形態の除振装置の水平方向に関する制御系概略図

【図5】第2実施形態の除振装置の概略図

【図6】第3実施形態の除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図

【図7】第4実施形態の除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図

【図8】単相リニアモータに発生する駆動力の説明図

【図9】第5実施形態の除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図

【図10】第6実施形態の除振装置に用いられる電磁駆動リニアモータの概略図

【図11】第7実施形態の露光装置の概略図

【図12】ウエハ製造プロセスのフロー図

【図13】半導体デバイス製造のフロー図

#### 【符号の説明】

##### 1 除振台

21 鉛直空気アクチュエータ

22 水平空気アクチュエータ

25a 鉛直変位センサ

25b 水平変位センサ

26a 鉛直振動センサ

26b 水平振動センサ

27 圧力センサ

28 制御弁

31 鉛直リニアモータ

32 水平リニアモータ

33 電磁駆動リニアモータ1

33a コイルアセンブリ

33b マグネットアセンブリ

33c コイル巻線

33d 磁石

34 電磁駆動リニアモータ2

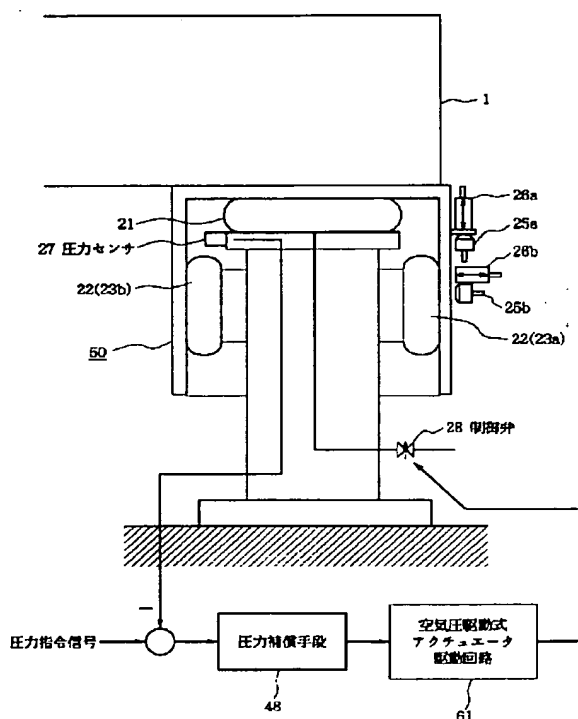
35 電磁駆動リニアモータ3

36 電磁駆動リニアモータ4

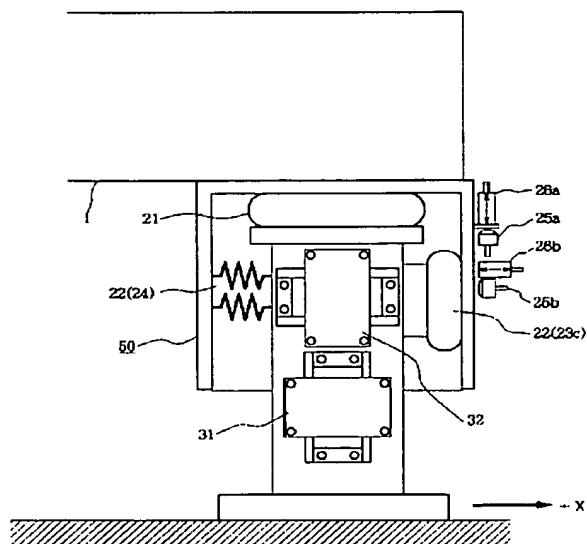


- 6 1 空気圧駆動式アクチュエータ駆動回路
- 6 2 電磁駆動リニアモータ駆動回路
- 9 1 床・基盤
- 9 2 ステージ定盤
- 9 3 ウエハステージ
- 9 4 レチクル定盤
- 9 5 レチクルステージ
- 9 6 鏡筒定盤
- 9 7 投影光学系
- 9 9 照明光学系

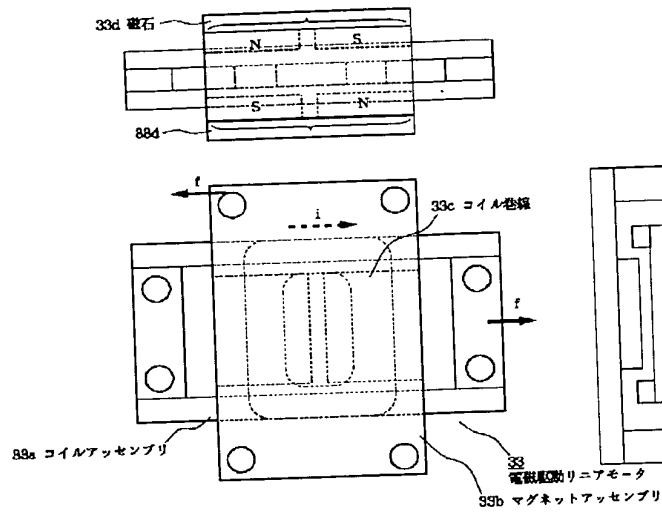
【图2】



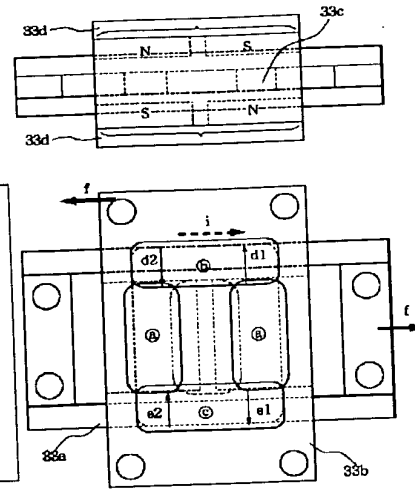
【図5】



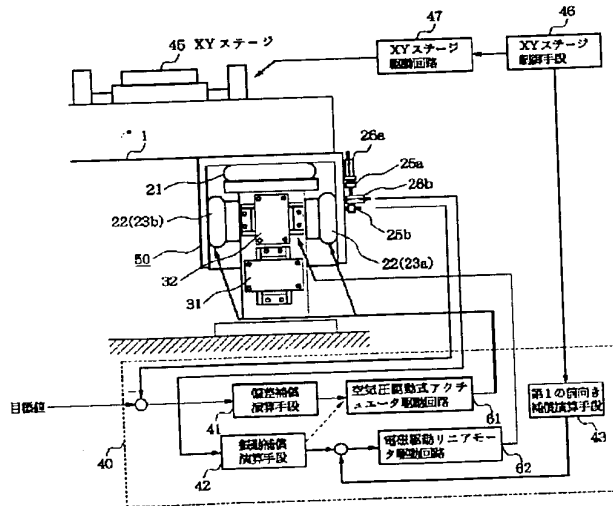
【図3】



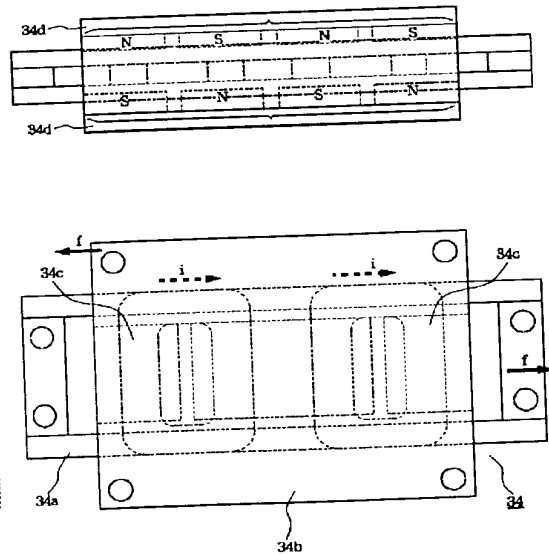
【図8】



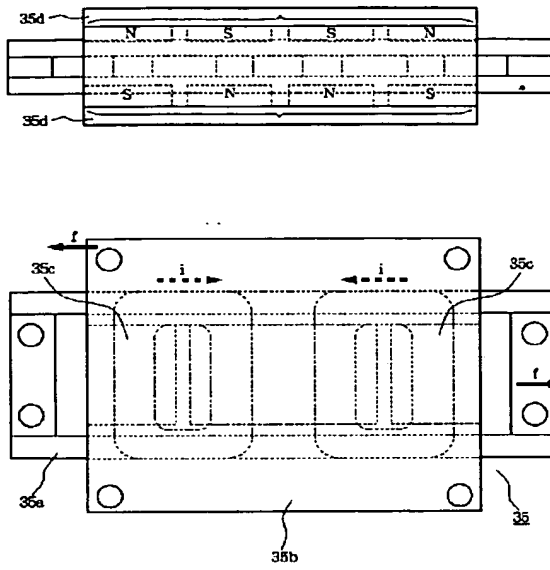
【図4】



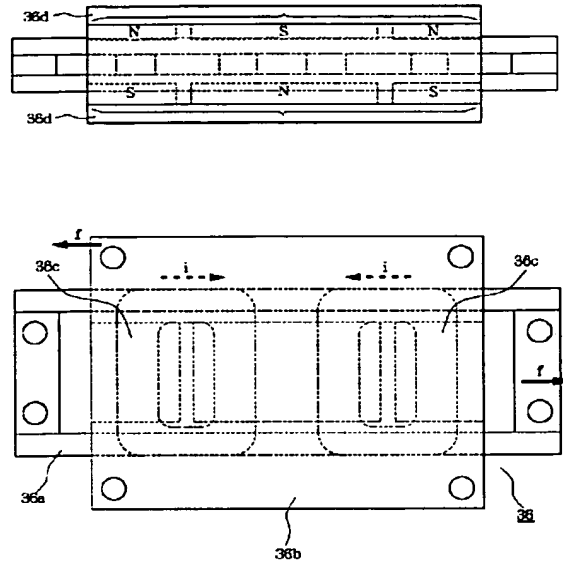
【図6】



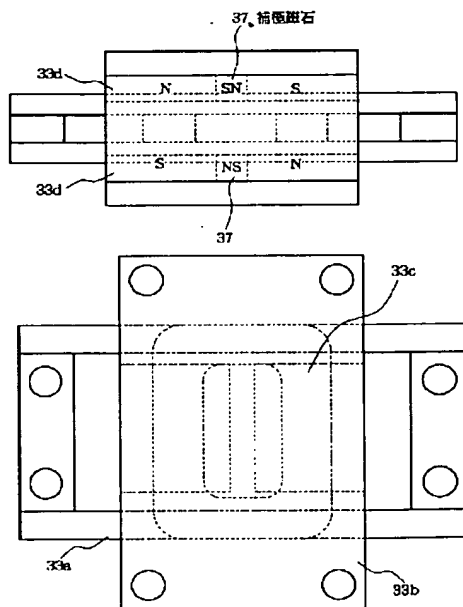
【図7】



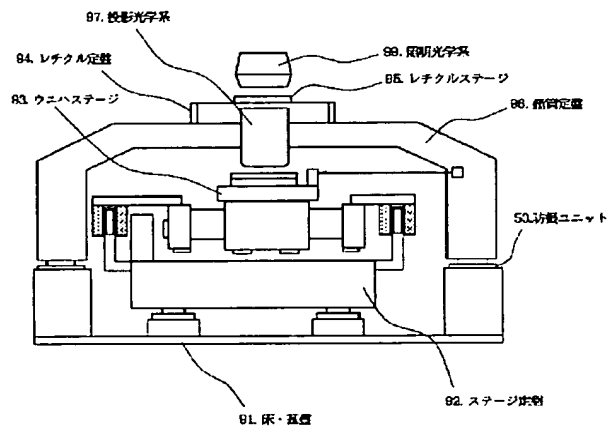
【図9】



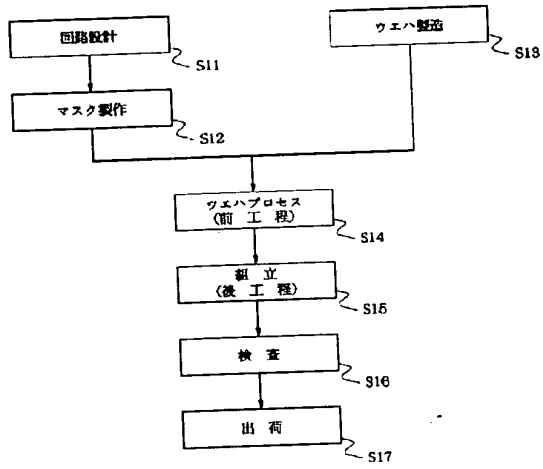
【図10】



【図11】



【図12】



【図13】

